



# การใช้ประโยชน์ใหม่จากเหล็กที่ละลายจากตะกอนน้ำมันโดยกรดไฮโดรคลอริกในการ บำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น พิมลพรรณ หมู่เฮง\* และธนพล เพ็ญรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000  
Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang District, Phisanulok, 65000  
\*Corresponding author. E-mail : mayphimonphan@gmail.com

## บทคัดย่อ

น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นเกิดจากน้ำมันหล่อเย็นที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวทำได้โดยวิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) เป็นขั้นตอนการแยกอนุภาคน้ำมันที่แขวนลอย (Emulsified Oil) อยู่ในน้ำมันหล่อเย็นให้ตกตะกอนออกมา ซึ่งตะกอนดังกล่าวที่เป็นของเสียที่ต้องนำไปกำจัดต่อไปซึ่งสิ้นเปลืองทรัพยากรและงบประมาณ งานวิจัยนี้จะนำตะกอนดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยใช้การละลายตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพื่อละลายเหล็กออกจากตะกอนน้ำมัน โดยเหล็กที่ละลายออกจากตะกอนน้ำมันนั้นได้จากการใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารตกตะกอน ซึ่งเหล็กในกรดดังกล่าวเป็นสารตกตะกอนบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นเวียนซ้ำๆ ต่อไป การทดลองแบ่งตะกอนเป็น 2 ชนิด คือ ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดโดยใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เป็นสารตกตะกอน และตะกอนที่เกิดจากการใช้ เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผสมกับ Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เป็นสารตกตะกอน โดยทำการทดลองละลายไม่เกิน 30 นาที ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 37% เหล็กที่อยู่ในตะกอนน้ำมันจะละลายออกมาในรูปเฟอร์ริคไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ในกรด สำหรับเหล็กซึ่งอยู่ในรูปสารละลายเฟอร์ริคไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ที่สามารถละลายออกจากตะกอนน้ำมันที่บำบัดด้วยเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เพียงอย่างเดียวมีเพียง 87.07% ของเหล็กในตะกอน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:1 ของปริมาตร ในขณะที่การละลายตะกอนที่เกิดจากเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผสมกับ Anionic Polymer (Hurrifloc-934) ได้ประสิทธิภาพ 75.62% โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:2 นอกจากนี้งานวิจัยยังเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ใหม่ในครั้งแรกของการบำบัด เทียบกับสารละลายเฟอร์ริคไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ในกรดที่แยกได้จากการละลายตะกอนน้ำมัน เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD, สารแขวนลอย (SS) และสารแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นซ้ำๆ การทดลองพบว่าสามารถใช้กระบวนการละลายตะกอนแล้วนำสารละลายเฟอร์ริคไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ในกรดในการเวียนกลับมาบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นได้ถึง 5 ครั้ง สำหรับตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เพียงอย่างเดียว และ 3 รอบ สำหรับตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) และแม้ว่ามีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการกำจัดตะกอนน้ำมันแบบทั่วไปแต่จากผลการวิจัยของเราชี้ให้เห็นว่าการนำสารตกตะกอนกลับมาใช้ใหม่เป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น การสร้างตะกอน การละลายตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก การใช้ประโยชน์ใหม่

## Abstract

The treatment of coolant wastewater includes the process of coagulation to separate emulsified oil in coolant. This process produces an enormous amount of sludge that requires a further disposal wasting resources and budget. In general, coagulation is promoted by  $FeCl_3$  which iron will be incorporated in sludge. Therefore, we evaluated an effectiveness of reusing of coagulant in sludge. We assessed hydrochloric acid (HCl) treatment to analyze a proper HCl volume and time of sludge dissolving. The dissolved iron was investigated its ability as coagulant and the number of times of reuse. Sludge produced by original method was solubilized with 37% hydrochloric acid for

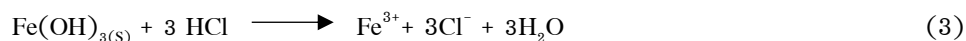
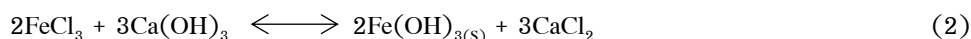


30 minutes in the absence and presence of interfering factor (anionic polymer such as Hurrifloc-934). The volume ratio of sludge to HCl was 3:1 yielding 87.07% ferric ion resolved. The 3:2 ratio required for iron resolving in the presence of interfering factor. Besides, the volume of dissolved iron was decreased to 75.62% in treatment with interference. In addition, the efficiency of dissolved iron used as renewable coagulant was analyzed based on quality parameters such as COD, suspended solids (SS) and volatile suspended solids (VSS). Ferric ion retrieved from HCl-treated oil sludge could be utilized as a renewable coagulant up to 5 times and 3 times in coolant wastewater treatment without interference and with interference respectively. Even though cost of treatment was slightly increased when compared with general wastewater treatment, our findings suggested that coagulant reusing is eco-friendly process.

**Keywords:** Coolant wastewater treatment Coagulation Hydrochloric acid leaching Reuse

### บทนำ

น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นถูกใช้ส่วนมากที่โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะ น้ำมันหล่อเย็นจะช่วยในการระบายความร้อนและลดแรงเสียดทานขณะการตัดเฉือนโลหะ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีน้ำมันหล่อเย็นหมดสภาพจะต้องส่งกำจัดไปที่โรงงานอุตสาหกรรมที่รับอนุญาตกำจัด ขั้นตอนแรกในการบำบัดน้ำมันหล่อเย็นจะใช้วิธีการลอยตัวด้วยอากาศละลาย (Dissolve -air Flotation) เป็นขั้นตอนการแยกน้ำมันออกจากน้ำมันหล่อเย็น แต่มีน้ำมันอยู่บางส่วนที่ไม่สามารถแยกออกได้ด้วยวิธีข้างต้น จึงต้องทำการบำบัดต่อด้วยวิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) โดยใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เพื่อทำลายเสถียรภาพของอิมัลชันในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำให้เกิดปริมาณตะกอนเป็นจำนวนมากที่ต้องส่งกำจัดสิ้นเปลืองงบประมาณ และทรัพยากรในภาพรวม ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นจัดอยู่ในขยะอันตราย ต้องมีการส่งกำจัดให้ถูกต้อง มิฉะนั้นจะเกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การละลายตะกอนด้วยกรดจึงอีกทางเลือกที่สามารถลดปริมาณตะกอนน้ำมันที่เกิดจากการบำบัดด้วยวิธีการสร้างตะกอน (Coagulation) ซึ่งเป็นการละลายตะกอนที่อยู่ในรูป  $Fe(OH)_3$  โดยต้องการให้เหล็กละลายออกจากตะกอนน้ำมัน ซึ่งจะทำให้สามารถแยกน้ำมันที่ลอยขึ้นด้านบนออกมาได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการละลายตะกอน และจะได้เฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{3+}$ ) กลับมาใช้เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) ซ้ำ ๆ โดยปฏิกิริยาที่เกิดตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ [1] เป็นดังสมการ (1) และ (2) และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นดังสมการ (3)



เนื่องจากยังไม่เคยมีการทดลองแนวคิดนี้กับตะกอนจากการบำบัดน้ำมันหล่อเย็น แต่มีการวิจัยสำหรับตะกอน  $Al(OH)_3$  ชนิดอื่น ๆ หรือเป็นเพียงการแยกสารที่ต้องการออกเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น Manhong Huang et al. (2011) [2] ทำการนำตะกอน  $Al(OH)_3$  จากการบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการละลายตะกอนด้วยกรด Sulfuric Acid 1.66 กรัมต่อตะกอน 1 กรัมเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 20 °C ทำให้  $Al(OH)_3$  ละลายได้ถึง 96.7% และทดลองนำสารละลายอะลูมิเนียมในกรดดังกล่าวมาตกตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทออีกครั้งพบว่าประสิทธิภาพดีไม่ต่างไปจากการใช้สารส้มใหม่ในการบำบัด สิริพร ทองบ่อ และ ชาคร จารุพิสิฐธร[3] การสกัดดีบุกออกจากฮาร์ดเสดโดยการละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก สามารถแยกดีบุกออกจากเหล็กได้หมด และ เหล็กละลายได้ 77.85% ในเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ ในการแยกดีบุกออกจากสารละลายทำโดยการปรับ pH ของสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ pH 3.0 สามารถแยกดีบุกได้ประมาณ 97.68% M.A.Barakat [4] สามารถแยกตะกั่ว ดีบุกและอินเดียม จากเศษลวดโลหะผสม (In 42.3%, Sn49.2%, Pb8.5%) โดย



การละลายด้วยสารละลาย HCl-HNO<sub>3</sub> ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 1.45 ชั่วโมงสามารถละลายดีบุกและอินเดียมให้อยู่ในสารละลายได้หมด ในขณะที่ตะกั่วจะตกตะกอนเป็นตะกั่วคลอไรด์เมื่อลดอุณหภูมิลงมาที่ 10 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงปรับ pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปที่ 2.0 ถึง 2.8 เพื่อตกตะกอนดีบุกออกจากสารละลายเป็นดีบุกไฮดรอกไซด์

งานวิจัยนี้ต้องการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นกลับมาใช้ประโยชน์โดยการละลายตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพื่อให้ได้สารละลายเฟอร์ริกไอออน (Fe<sup>3+</sup>) และศึกษาประสิทธิภาพในการใช้สารละลายเฟอร์ริกไอออน (Fe<sup>3+</sup>) บำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น โดยงานวิจัยนี้คาดว่า วิธีการละลายตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก สามารถให้สารละลายเฟอร์ริกไอออน (Fe<sup>3+</sup>) ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น และทำให้ลดปริมาณของเสียและค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอน ตามนโยบายการลดของเสียอุตสาหกรรม

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

#### วัสดุ

น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้มาจาก บริษัท ซี.อี.โอ. อินเตอร์เนชันแนล เวสต์ จำกัด จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่ 105 และ 106 โดยรับน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นเพื่อรีไซเคิล (Recycle) น้ำมันทำเป็นเชื้อเพลิงทดแทน

#### การเตรียมตะกอน

เตรียมเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ที่ 2.25 กรัมต่อน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น 1 ลิตร โดยละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เครื่อง Jar test (รุ่น PHIPPS & BIRD) โดยกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที ในส่วนตะกอนอีกชนิดผสม Anionic Polymer (Hurri-floc-934) เพิ่มที่ 0.2 กรัมต่อน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น 1 ลิตร และเตรียมตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) กับ ตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurri-floc-934) โดยกวนผสมในน้ำกลั่น ซึ่งเป็นตะกอนควบคุม เพื่อศึกษาผลกระทบของตะกอนที่มีและไม่มีน้ำมันหล่อเย็นผสม จากนั้นนำตะกอนทั้ง 4 ชนิดที่ได้หมุนเหวี่ยง (รุ่น FALCON 6/300) ที่อัตรา 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกน้ำออกจากตะกอน

#### การละลายตะกอนเพื่อแยกเหล็กออกจากตะกอนน้ำมัน

ตะกอน 4 ชนิดที่ได้เตรียมไว้ ปริมาตร 15 มิลลิลิตรใส่กระบอกตวง โดยใส่ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 37% กวนผสมบนเครื่องปั่นแม่เหล็ก(รุ่น IKA C-MAG HS4) ที่เวลา 1, 5, 10, 15, 20 และ 30 นาที ซึ่งใช้ตะกอนตั้งต้น 15 ml เพื่อดูปริมาณการลดลงของตะกอนน้ำมัน และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในด้านระยะเวลาการกวนผสมและปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 2 ซ้ำ

#### การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ทำการวิเคราะห์หารปริมาณเหล็กที่ละลายออกมาจากตะกอนและปริมาณเหล็กที่ยังคงค้างอยู่ในตะกอนน้ำมันหล่อเย็น โดยการวิเคราะห์เหล็กที่ละลายเป็นของเหลวใช้ EPA Method 3015A และตะกอนน้ำมันหล่อเย็นใช้ EPA Method 3051A ซึ่งเป็นขั้นตอนการย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion (รุ่น Ethos UP) และวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่เครื่อง Atomic absorption spectroscopy (AAS) (Hitachi High-Tech รุ่น Z-2000)

#### การนำเหล็กที่แยกได้กลับมาใช้เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)

สารละลายเหล็กที่เกิดจากการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ละลาย นำมาเทใส่น้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นและปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 9-10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากนั้นทำการ Jar test โดยกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และปล่อยให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำหลังจากการบำบัดมาตรวจวัดพารามิเตอร์ ดังนี้ COD, สารแขวนลอย (SS), สารแขวนลอยระเหยง่าย (VSS), ของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งละลายน้ำ (TDS) โดยทำการทดลองเป็นจำนวน 2 ซ้ำ



ผลการศึกษา

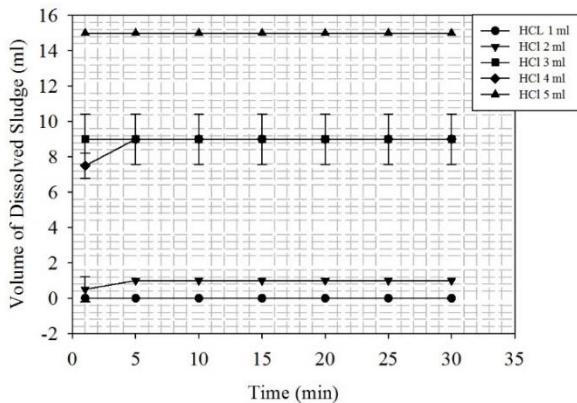
ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

ผลการทดลองจากภาพที่ 1 แสดงผลการละลายตะกอนควบคุม (ไม่มีน้ำมันหล่อเย็น) โดยแสดงการลดลงของปริมาณตะกอน เมื่อเพิ่มปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จะเห็นได้ว่าสำหรับตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ควบคุมที่ปริมาณ 5 ml ของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) นั้น กรดจะละลายตะกอนหมดตั้งแต่การใช้เวลากวนผสมที่ 1 นาที ส่วนตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) แบบควบคุม ที่ปริมาณ 5 ml ของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ก็ละลายตะกอนได้หมดเช่นกันแต่ใช้เวลาในการกวนนานถึง 20 นาที ซึ่งเมื่อเพิ่มกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ไปที่ 7 ml จะใช้เวลากวน 10 นาที และเพิ่มกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ 10 ml ใช้เวลากวนที่ 5 นาทีเท่านั้นจึงละลายหมด ตามลำดับ

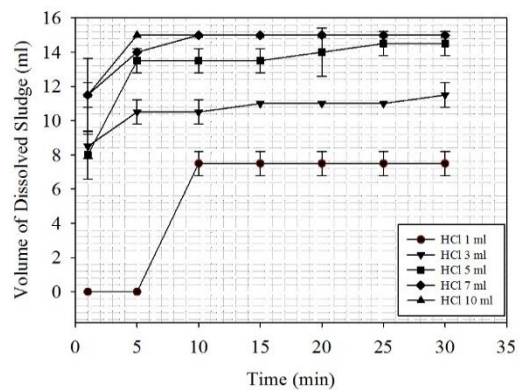
ผลการทดลองจากภาพที่ 2 (ก) แสดงให้เห็นว่าในการละลายของตะกอนน้ำมันให้เหลือน้อยที่สุด นั้นต้องใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือเวลาในการกวนผสมมากกว่าตะกอนควบคุม โดยเมื่อใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ในการตกตะกอนน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น พบว่าใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ถึง 15-30 ml สามารถทำให้ตะกอนน้ำมันละลายได้เพียง 12 ml จาก 15 ml นั้นแสดงให้เห็นว่าปริมาตรของน้ำมันที่อยู่ในตะกอนน้ำมันมีอยู่ 3 ml และจากผลการวัดค่าปริมาณเหล็กด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy (AAS) พบว่าปริมาณเหล็กที่ละลายออกมาจากตะกอนน้ำมันเป็นดังภาพที่ 3 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพียง 5 ml ก็สามารถละลายเหล็กออกได้เท่ากับที่ใช้ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้น แต่การละลายต้องใช้เวลากวนผสมถึง 30 นาที ซึ่งมากกว่าตะกอนใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ควบคุมที่ใช้เวลากวนผสมเพียง 1 นาที

ผลการทดลองจากภาพที่ 2 (ข) เป็นการเพิ่ม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) ซึ่งทำให้การละลายของเหล็กนั้นยากยิ่งขึ้น เนื่องจากมี Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เข้ามาทำให้กรดต้องละลายโพลิเมอร์ก่อนถึงจะสามารถเข้าไปละลายเหล็กที่ถูกล้อมรอบด้วยน้ำมันได้ เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ปริมาณของกรดมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ถึง 15-30 ml สามารถละลายตะกอนน้ำมันได้ 10 ml จาก 15 ml ของตะกอนน้ำมัน และพบว่าปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่เหมาะสมที่สามารถละลายเหล็กออกมาได้คือที่ 10 ml ถึงแม้ว่าปริมาณเหล็กที่ออกมานั้นมีปริมาณที่น้อยกว่าจากการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ 15-30 ml แต่การเพิ่มกรดกลับทำให้ปริมาณเหล็กที่ออกเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 4)

นั้นแสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นตะกอนที่มีน้ำมันหล่อเย็นผสมอยู่นั้น ทำให้เหล็กมีการละลายออกมาจากตะกอนยากขึ้น เนื่องจากเหล็กได้มีอนุภาคของน้ำมันมาล้อมรอบ และถ้ามีการเพิ่มของโพลิเมอร์เข้าช่วยในการตะกอนน้ำเสีย ทำให้ต้องเพิ่มปริมาณกรดในการละลายเหล็ก จากการทดลองจะเห็นได้ว่าต้องเพิ่มขึ้นถึง 1 เท่า



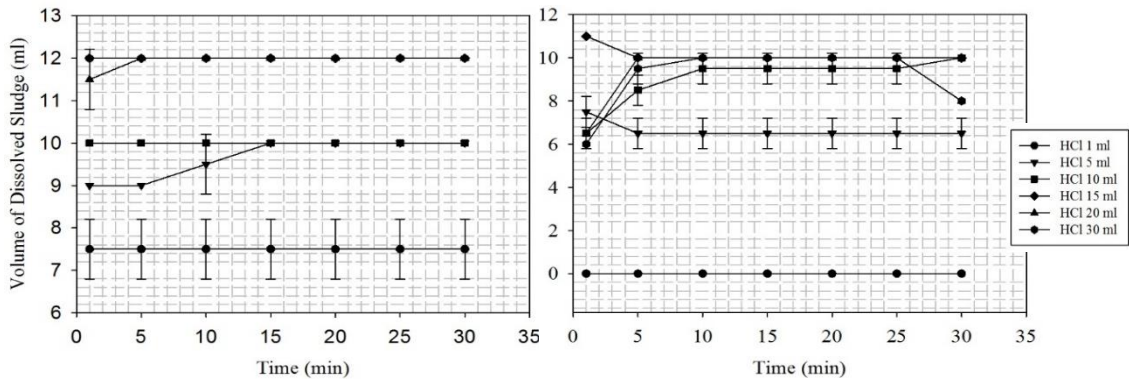
(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) แสดงการใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการละลายตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ )

(ข) แสดงการใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการละลายตะกอนเฟอร์ริคคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934)

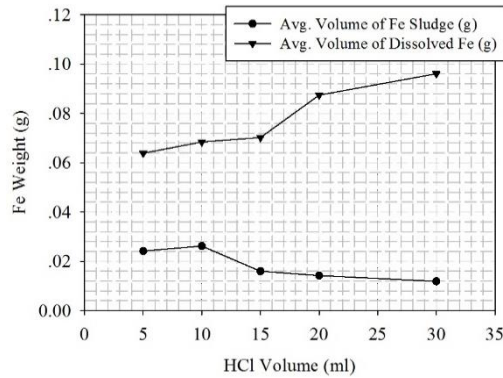


(ก)

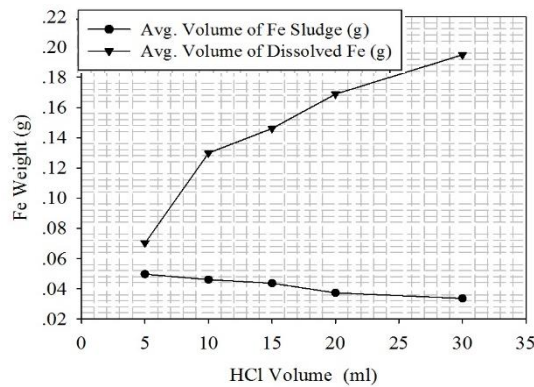
(ข)

ภาพที่ 2 (ก) แสดงการใช้ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการละลายตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)

(ข) แสดงการใช้ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในการละลายตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณเหล็กที่ละลายและคงอยู่ในตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)

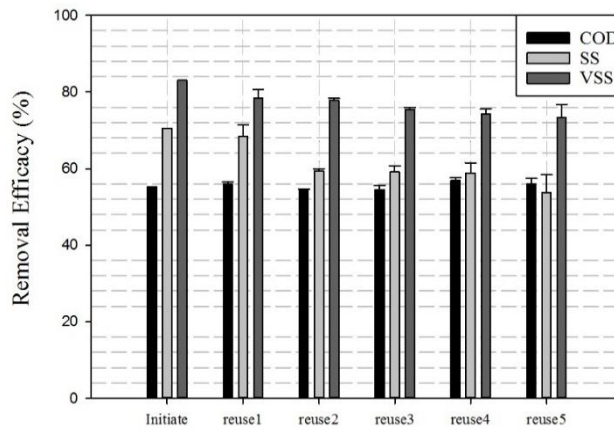


ภาพที่ 4 แสดงปริมาณเหล็กที่ละลายและคงอยู่ในตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)



**ประสิทธิภาพจากการใช้สารสร้างตะกอนซ้ำ ๆ ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น**

จากการทดลองเพื่อหาปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ให้เหมาะสมกับการละลายตะกอน ซึ่งได้สารละลายเหล็กออกมาในค่าความเป็นกรดดูถูกนำมาเป็นสารสร้างตะกอนอีกครั้ง ในส่วนของตะกอนที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เพียงอย่างเดียว นั้น เหล็กที่สามารถออกจากตะกอนน้ำมันอยู่ที่ 87.07% โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:1 ของปริมาตร และจากการทดลองที่นำตะกอนกลับมาใช้ใหม่ถึง 5 รอบ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นแสดงในภาพที่ 6 ในส่วนของค่า COD ยังคงมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกับการนำสารเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ใหม่มาใช้ในการบำบัด แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอย (SS) นั้น ในการนำตะกอนกลับมาใช้ซ้ำในรอบที่ 2 เริ่มมีประสิทธิผลลดลง จาก 68.46% เหลือเพียง 58.88% และมีการลดลงอีกครั้งในการนำตะกอนกลับมาใช้ซ้ำในรอบที่ 5 เหลือประสิทธิภาพ 53.74 % เช่นเดียวกับและสารแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ที่มีประสิทธิผลลดลงเช่นเดียวกันแต่เพียงเล็กน้อยในการนำตะกอนกลับมาใช้ซ้ำในรอบที่ 2 และเห็นได้ชัดในตะกอนซ้ำรอบที่ 5

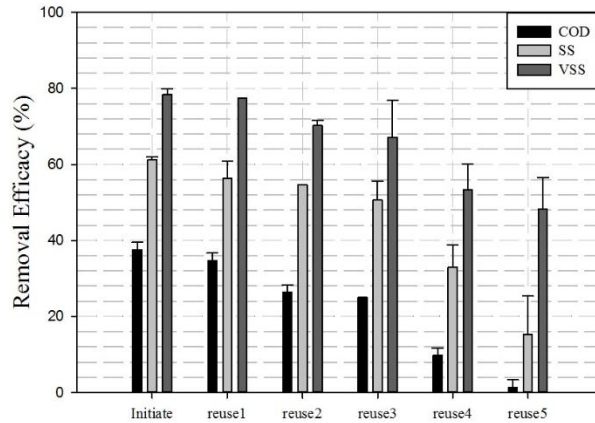
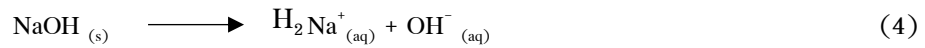


ภาพที่ 5 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็น จากการใช้ตะกอนซ้ำ ๆ ของตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)

ในส่วนของตะกอนที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสมกับ Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เหล็กที่สามารถออกจากตะกอนน้ำมันอยู่ที่ 75.62% โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:2 โดยปริมาตรและจากการทดลองที่นำตะกอนกลับมาใช้ใหม่ถึง 5 รอบ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันหล่อเย็นแสดงในภาพที่ 6 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำหล่อเย็น ในค่า COD มีการลดลงของการใช้ตะกอนซ้ำในรอบที่ 2 จาก 34.72% เหลือ 26.39% และมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดในการใช้ตะกอนซ้ำในรอบที่ 4 เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งระเหยง่าย (VSS) ที่มีการลดลงในรอบที่ 4 เช่นกัน

การที่ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าลดลงเรื่อยๆ นั้น เนื่องจากการนำตะกอนมาละลายซ้ำในแต่ละรอบไม่สามารถที่ละลายเหล็กออกจากตะกอนได้ทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณเหล็กที่ละลายมีปริมาณน้อยลงไปเรื่อยๆ ตามลำดับในตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) สามารถใช้ตะกอนซ้ำได้ถึง 4 รอบ ก่อนที่ประสิทธิภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurrifloc-934) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) สามารถใช้ตะกอนซ้ำได้น้อยกว่าเพียง 3 รอบ เนื่องจากตะกอนที่มี Anionic Polymer (Hurrifloc-934) ผสม ทำให้การละลายของเหล็กที่ออกมาจากตะกอนมีปริมาณน้อยกว่า เพราะอนุภาคของน้ำมันได้รับดูดซับบนอนุภาค Polymer สามารถจับตะกอนเป็นก้อนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น

การวัดค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และ ของแข็งละลายน้ำ (TDS) มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากน้ำเสียตั้งต้นที่ 20-25% เนื่องจากการปรับค่า pH ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เมื่อละลายในน้ำเสียทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนดั่งสมการที่ (4) ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าว



ภาพที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเป็นน้ำมันหล่อเย็น จากการใช้ตะกอนซ้ำๆ ของตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurifloc-934) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant)

### การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

งานวิจัยครั้งนี้เพื่อต้องการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการบำบัด ซึ่งต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในความคุ้มค่า จากการคำนวณค่าใช้จ่ายในด้านตะกอนที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการนำตะกอนกลับมาใช้ใหม่ ราคาของต้นทุนและการฝังกลบตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) และตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurifloc-934) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) อยู่ที่ 0.29 บาท/น้ำเสีย 5 ลิตร และ 0.34 บาท/น้ำเสีย 3 ลิตร ตามลำดับ (การคิดน้ำเสียที่ 5 และ 3 ลิตรนั้น คิดจากจำนวนรอบที่ตะกอนสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในตะกอนแต่ละชนิด) ส่วนในด้านการนำตะกอนกลับมาใช้ใหม่ของตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) และตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurifloc-934) โดยใช้สารละลายเฟอร์ริคไอออน (Fe<sup>3+</sup>) เป็นสารสร้างตะกอน (Coagulant) ค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 0.34 บาท/น้ำเสีย 5 ลิตร และ 0.44 บาท/น้ำเสีย 3 ลิตร ตามลำดับ เมื่อประเมินถึงค่าใช้จ่ายข้างต้นการนำตะกอนกลับมาใช้ใหม่มีค่าใช้จ่ายมากกว่า เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของสารเคมีในการละลายตะกอนและการปรับค่า pH แต่เพิ่มขึ้นเพียงประมาณ 10 สตางค์ ต่อ 1 รอบของการใช้ตะกอนซ้ำจนหมดสภาพ แต่ถ้าคำนึงถึงการลดปริมาณของของเสียและทรัพยากรในภาพรวมได้นั้น จะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

### สรุปผลการศึกษา

เหล็กที่อยู่ในตะกอนน้ำมันจะละลายออกมาในรูปสารละลายเฟอร์ริคไอออน (Fe<sup>3+</sup>) อีกครั้ง สำหรับเหล็กที่สามารถออกจากตะกอนน้ำมันใส่เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) เพียงอย่างเดียว กับ เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสมกับ Anionic Polymer (Hurifloc-934) อยู่ที่ 87.07% โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:1 ของปริมาตร และ 75.62% โดยใช้อัตราส่วนระหว่างตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริก 3:2 ตามลำดับ เนื่องจากการผสม Anionic Polymer (Hurifloc-934) ทำให้การละลายของเหล็กที่ออกมาจากตะกอนเป็นไปได้ยากขึ้น จึงใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่มากกว่า

การนำตะกอนกลับมาใช้ใหม่นั้น จากตะกอนน้ำมันใส่เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) สามารถนำกลับมาใช้ได้ถึง 5 รอบ แม้จะมีประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย แต่เห็นได้ชัดในการนำตะกอนกลับมาใช้ในรอบที่ 5 ที่ประสิทธิภาพลดลงในด้านของแข็งแขวนลอย (SS) และตะกอนน้ำมันที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>) ผสม Anionic Polymer (Hurifloc-934)



สามารถนำตะกอนกลับมาใช้ได้เพียง 3 รอบ เพราะการนำตะกอนกลับมาใช้ซ้ำในรอบที่ 4 นั้น ทำให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัด

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายในงานวิจัย และ บริษัท ซี.อี.โอ. อินเทอร์เน็ตเน็ทเวิลด์ เวสต์ จำกัด สำหรับน้ำเสียตัวอย่างในการทดลองงานวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

นายพรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) และฟล็อกคูเลชัน (Flocculation). ส่วนวิเคราะห์จัดการสิ่งแวดล้อม กองจัดการสิ่งแวดล้อมและมลพิษ ฝ่ายควบคุมคุณภาพน้ำ สืบค้นจาก : [https://www.mwa.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=441](https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=441)

Huang M H, Chen L, Chen D H, Zhou S J, (2011). **Characteristics and aluminum reuse of textile sludge incineration residues after acidification.** Journal of Environmental Sciences, 23(12): 1999–2004.

สิริพร ทองบ่อ และ ชาคร จารุพิสิฐธร. การสกัดดีบุกออกจากฮาร์ดเสดโดยการละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

M. A. Barakat. **Recovery of lead, tin and indium from alloy wire scrap.** Hydrometallurgy. vol. 49, no. 1–2, pp. 63–73, 1998.

ราคาสารเคมี. บริษัท ซี.อี.โอ. อินเทอร์เน็ตเน็ทเวิลด์ เวสต์ จำกัด